



TITLE:

Numerical investigation of two-frequency forced Faraday waves(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Takagi, Kentaro

CITATION:

Takagi, Kentaro. Numerical investigation of two-frequency forced Faraday waves. 京都大学, 2015, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18781>

RIGHT:

許諾条件により本文は2015/03/24に公開; 学位規則第9条第2項により要約公開

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	高木健太郎
論文題目	Numerical investigation of two-frequency forced Faraday waves （2周波数加振のファラデー波の数値的研究）		
（論文内容の要旨）			
<p>流体を満たした容器を鉛直方向に加振すると、流体表面に表面張力波が励起され、多角形定在パターンが選択される。これが古典的なファラデー波である。近年では、加振方法や流体の特性などの設定を制御することで、より多彩なパターンや流体運動とは思えない生物を想起させる自律的な運動すら報告されている。しかしながら、この新奇で物理的に興味深いファラデー波の形成メカニズムの解明は、実験の測定手法や理論の解析手法が未成熟であるため不完全な状況である。そのため、定量的かつ詳細なデータが得られる数値シミュレーションが重要視されている。</p> <p>このような状況下、本学位論文では、2周波数加振による新奇ファラデー波を対象とした3次元数値シミュレーションを先駆けて行い、新奇ファラデー波固有のパターンを再現することに成功した。</p> <p>本論文は、4章から構成されている。第1章では、本研究に関連する古典的なファラデー波と2周波数加振のファラデー波の実験、それに関する理論解析及び、流体表面を追跡する数値手法（レベルセット法）を中心に概説し、研究の背景及び関連する先行研究を紹介する。</p> <p>第2章では、本研究で用いる3次元ナビエ・ストークス方程式、表面捕獲手法であるレベルセット法及び、その離散化手法を紹介する。特に本研究で用い比較した2種類のレベルセット法（一般的レベルセット法と粒子レベルセット法）を詳細に解説している。</p> <p>第3章と第4章では、まずレベルセット法を用いた数値シミュレーションの妥当性の評価を行う。数値シミュレーションの結果と線形安定性解析との比較を行い、定量的に一致する結果を得た。また、実験と同じ設定を用いた数値シミュレーションを行い、基本パターンである四角形と六角形パターンの再現に成功した。数値手法の妥当性を確立した後に、2周波数加振ファラデー波固有のパターンであるロンボイドパターン（六角形を伸ばしたような形）の再現に成功した。このロンボイドパターンの再現は本報告が初めてである。次に、ロンボイドパターンに対する弱非線形解析の妥当性を検証し、弱非線形解析に用いられた仮定に妥当でないものがあり、解析結果が不完全であることを示した。更に、複雑なファラデー波を定量的に再現するには高い精度で体積保存を満たす界面捕獲手法が必要であることを示し、ロンボイドパターン以外の2周波数加振ファラデー波固有のパターン再現に関する課題の検討と考察を行った。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

流体を満たした容器を鉛直方向に加振すると、流体表面に多角形パターンをもつ定在波が生じる。この現象が古典的なファラデー波である。近年、加振方法や構成する流体をコントロールすることで、この古典的な定在的多角形パターンとは異なる、動的で多彩な界面パターンを持つ新奇ファラデー波が数多く実験的に発見されている。

しかし、その生成機構は、実験による測定や理論的な取り扱いが難しく、物理的に解明されていない点が少ない。本研究の動機は、この新奇ファラデー波の解明において、基礎方程式を数値的に解く直接シミュレーションを活用した定量的な数値解析を行うことである。

本研究では、(ア) ファラデー波の実験と整合する数値計算法の確立、(イ) 2周波数加振下での新奇ファラデー波の数値シミュレーションによる再現とその機構の解明、の2点を課題とした。

まず(ア)では、ファラデー波が生じる流体界面のダイナミックスを精度よく数値的に扱うためにレベルセット法が、また実験で使われた流体の物性値と同じ設定とするために高精度の圧力方程式解法がそれぞれ実装された。この結果、(イ)において、線形安定性解析と定量的に一致することを確認した。更に、単純な四角形パターン、六角形パターンについては2周波数加振ファラデー波の実験と定性的に整合する結果を得た。加えて、界面追跡手法としては、体積保存を高精度で保証する粒子レベルセット法を用いることが実験の再現に必須であることを明らかにした。

妥当な数値手法を検討し確立した後、2周波数加振系特有のパターンである、引き伸ばされた六角形(ロンボイド)パターンの数値シミュレーションを行った。このロンボイドパターンの数値計算による再現は本研究ではじめてなされたものである。このシミュレーション結果を用いて、ロンボイドパターンに関する弱非線形解析の検討を行い、理論が用いた仮定に不十分な点があることを明らかにした。最後に、2周波数加振ファラデー波の他パターンのシミュレーションに関する困難についての議論とその克服法の考察を行った。

以上の研究成果は、新奇ファラデー波の理解にむけた数値的研究の第一歩である点、また物理的に実験可能な系で混相流の数値計算法の妥当性を示した点の2点において高く評価できる。

よって本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成26年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降